

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**“ESTIMACIÓN DEL CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DEL CAFÉ
(*Coffea arabica* var. Catimor) BAJO SOMBRA DE GUABA
(*Inga edulis*) EN LA PROVINCIA DE LAMAS - PERÚ.”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

MARCO ANTONIO ISMINIO RAMÍREZ

**TARAPOTO - PERÚ
2006**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

DEPARTAMENTO ACADÉMICO AGROSILVO PASTORIL

ÁREA DE SUELOS Y CULTIVOS

**“Estimación del carbono en la biomasa aérea del Café
(*Coffea arabica* var. Catimor) bajo sombra de Guaba (*Inga
edulis*) en la Provincia de Lamas – Perú.”**

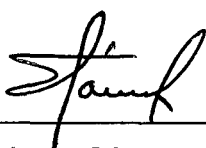
TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

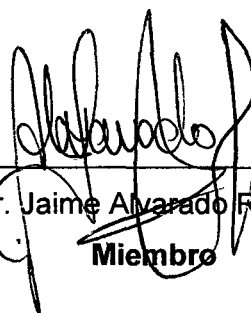
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

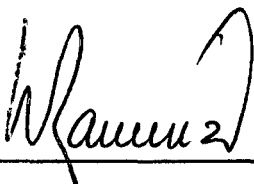
MARCO ANTONIO ISMINIO RAMÍREZ



Ing. M. Sc. Jorge Sánchez Ríos
Presidente



Ing. Dr. Jaime Alvarado Ramírez
Miembro



Ing. Williams Ramírez Navarro
Miembro



Ing. Cesar E. Chappa Santa María
Asesor

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	25
V. RESULTADOS	33
VI. DISCUSIÓN	39
VII. CONCLUSIONES	45
VIII. RECOMENDACIONES	47
IX. RESUMEN	49
X. SUMMARY	50
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
XII. ANEXO	53

DEDICATORIA

Realmente a Dios por brindarme la vida y a mis queridos padres Gilberto Isminio Mori y Lendy Ramirez Salinas, que con esfuerzo dedicación y voluntad; contribuyeron para lograr uno de mis anhelados sueños, culminar mis estudios superiores.

A mis hermanos, tíos, primos y abuelos que me apoyaron en todo momento durante mi formación personal y llegar a ser ejemplo y orgullo de todos.

AGRADECIMIENTO

- Al Ingeniero Cesar Enrique Chappa Santa Maria asesor del presente trabajo de Investigación.
- Al Ingeniero Henry Fernando Chota Guerra por haber colaborado en la presente tesis.
- Al Ingeniero Cesar Augusto Delgado Pizarro, por su colaboración desinteresada en mi formación personal.
- Al Ingeniero Warren Flores Flores por haber contribuido en la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A mis estimados profesores y amigos de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, por su colaboración desinteresada durante la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A mis tíos Nicolas Bartra y Jacinta Ramírez Salinas por haber colaborado durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

I. INTRODUCCIÓN

El medio ambiente viene sufriendo un deterioro latente y no parece tener solución, a pesar de muchas intenciones que se realizan para contrarrestarlo. Uno de los problemas ambientales y de recursos más críticos a nivel mundial es la destrucción de los bosques tropicales.

Desde muchos años hasta la actualidad el hombre sigue explotando los bosques para poder satisfacer algunas necesidades básicas. Pero sabemos que los bosques albergan una gran diversidad biológica de la tierra y que son componentes importantes de los ciclos globales de carbono e hidrógeno.

Sin embargo, cuando los bosques son renovados o conservados pueden servir como depósitos para el bióxido de carbono, de esta forma los usuarios de combustible fósil que contribuyen a la preservación o establecimiento de bosques pueden llegar a reducir sus redes de emisión de gas, disminuyendo los causantes del efecto invernadero. La captura de carbono por medio de la forestación, posibilita una racionalidad económica que permite reducir el calentamiento global y preservar los recursos forestales.

Existen cada vez más proyectos de plantaciones y manejo de bosques en países en desarrollo; dirigidos a captar carbono con el fin de compensar emisiones de países desarrollados. En este sentido, el presente proyecto se orientó a determinar la cantidad de carbono existente en una biomasa agroforestal de Café (*Coffea arabica*) bajo sombra de Guaba (*Inga edulis*), la cual contribuirá a brindar una oportunidad para que se pueda aprovechar los beneficios de los bosques manejados y plantaciones agroforestales ubicados en la Región San Martín.

II. OBJETIVOS

- 2.1. Estimar la cantidad de carbono en la biomasa aérea arbórea, arbustiva - herbácea, hojarasca, y en los 5 cm superiores del suelo, en un sistema agroforestal de Café (*Coffea arabica*) variedad Catimor, bajo sombra de Guaba (*Inga edulis*).
- 2.2. Determinar la proporción relativa del aporte de la cantidad de carbono en los sistemas agroforestales y establecer la relación entre sus componentes.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Botánica del Café

Reino	:	Vegetal
División	:	Magnoliophyta
Tipo	:	Espermatofitas
Sub tipo	:	Angiospermas
Clase	:	Dicotyledoneae
Sub clase	:	Asteridae
Orden	:	Rubiales
Familia	:	Rubiaceae
Género	:	<i>Coffea</i>
Sub género	:	Eucoffea
Especies	:	<i>Arabica, Canephora, Liberia</i>

3.2. Ecología del Café

3.2.1. Morfología del Café: Según Zamora, (1 998)

La planta del café tiene un solo eje, en cuyo extremo hay una zona de crecimiento activo permanente que va alargando el tallo, formando nudos y entre nudos. El eje central o ramas ortotrópicas solo producen yemas vegetativas, mientras que las ramas laterales o plagiotrópicas, llamadas bandolas, son las ramas primarias que dan origen a ramas secundarias y de aquí a su vez pueden salir las tercearias.

3.2.2. Ecología del café

Para el desarrollo de una zona cafetalera se tiene en cuenta factores como: clima, suelo, económicos, humanos y otros criterios de orientación. El ambiente físico (clima y suelo), es base del crecimiento de la planta, a partir del cual funcionan los demás elementos. **Zamora, (1 998)**

Las lluvias determinan el inicio de una campaña cafetalera, favorece el crecimiento de la planta, la floración y la fructificación.

La luminosidad es otro de los factores que se debe tener en cuenta, el café necesita aproximadamente 150 horas sol / mes, cuando existe mucha luminosidad los cafetos tienen un mayor desarrollo y desgastan mas rápido. A mayor luz, mayor necesidad de agua y sustancias minerales; la luminosidad esta relacionada con dos factores: el uso de fertilizantes y la distribución de lluvias. **Castañeda, (1 997)**

3.3. Botánica de la Guaba

Familia	:	Fabaceae (Mimosoidea)
Género	:	<i>Inga</i>
Especies	:	<i>Inga edulis</i> Mart

(http://www.portalagrario.gob.pe/rmn_guaga.shtml; 2005)

3.4. Ecología de la Guaba

Planta adaptada a las condiciones de climas tropicales y subtropicales, a climas con temperaturas medias iguales o superiores a 20 °C, siempre y cuando no existan heladas; adaptada a condiciones de precipitación entre

1,000 y más de 5,000 mm, suelos ácidos con pH 4,0 y alta saturación con aluminio y aun en condiciones de suelos de desierto que han sido incorporados en sistema de riego.

(http://www.portalagrario.gob.pe/rmn_guaga.shtml; 2005)

3.5. Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de la tierra, en los cuales los árboles o arbustos son utilizados en forma intercalada o asociada con cultivos agrícolas en el mismo terreno de manera simultánea o en una secuencia temporal. (LÓPEZ, 1994)

3.5.1. Beneficios para los agricultores

Los sistemas agroforestales bien manejados pueden ser viables desde un punto de vista económico. Algunos ejemplos bien conocidos comprenden el café, el cacao, la pimienta, los árboles frutales o las palmas. Estos sistemas presentan ventajas, si bien puede no haber incrementos inmediatos en el rendimiento, sobre todo en los cultivos más comunes. Por lo tanto, para llegar a una posición ventajosa, se deberán agregar otros beneficios. Estos pueden provenir de distintos orígenes tales como convenios o intervenciones sobre políticas. Es fundamental que sea otorgado un valor económico -como para los bienes comercializables - a la cantidad de carbono capturado por medio de la aplicación del Protocolo de Kyoto o de un probable tratado Post-Kyoto y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CMD). Se han establecido recientemente un cierto número de sistemas de

intercambio o canje de carbono en los cuales los valores del crédito de carbono se establecen a valores mucho menores que los costos reales externos. Estos varían ampliamente -entre 1 y 38 dólares por tonelada de carbono- si bien los valores más comunes se encuentran entre 2,50 y 5,00 dólares. Estos valores monetarios por la tonelada de carbono son considerablemente menores que algunas estimaciones optimistas hechas en los Estados Unidos de América de 100 dólares por tonelada. (IZAC, 1997).

Además existen algunas medidas hechas en la Amazonía donde se ha encontrado un aumento de la biomasa de 0,62 t C/ha/año, lo cual para un área de 7 000 millones de hectáreas significa una captura de carbono de Gt 0,44 C/año.

3.5.2. Las tierras cultivadas y el componente cultivos en los sistemas agroforestales

GARCÍA (1997), reporta que las variantes de la agricultura de conservación se difunden ampliamente y son aplicadas por los agricultores en más de 60 millones de hectáreas en muchos países, incluyendo Brasil, Argentina, Estados Unidos de América, Australia, India y están siendo validadas también en varios países de África. Estas prácticas incluyen el manejo agrobiológico del suelo y de los sistemas de producción

Los principios básicos son:

- Labranza cero (o labranza mínima).
- Cobertura permanente del suelo con vegetación (cultivos comunes y plantas adicionales) o residuos de plantas.
- Siembra directa a través de la cobertura permanente del suelo o de los residuos de los cultivos.
- Producción de biomasa y cobertura del suelo con materiales vegetales usando especies adaptadas.

Así mismo estos sistemas conllevan a una alta tasa de captura de carbono porque combinan los efectos de la labranza cero con un ingreso máximo de materia orgánica en forma de residuos de los cultivos o de cultivos de cobertura. Es preferible la cobertura por plantas in situ antes que traer materiales de otros lugares en razón del aporte adicional que hacen las raíces del cultivo además del consumo de energía para transportar la cobertura necesaria; esto también implica la pérdida de carbono en otros lugares. Las mismas prácticas se aplican a los cultivos incluidos en los sistemas agroforestales. Desde el momento en que es posible agregar la captura de carbono proporcionada por los árboles, la combinación resulta ser un sistema muy efectivo. Si el método pasara a tener un uso más generalizado podrían surgir algunos problemas que deberían ser solucionados. Uno de los posibles problemas es el control de las malezas en el primer o segundo año de la no labranza donde puede ser necesario el uso de algunos herbicidas. El glifosato tiene ahora un uso generalizado en virtud de su efectividad para el control de gramíneas y especies perennes. Sin embargo, aún es necesario un estudio cuidadoso sobre

la acumulación, tiempo de residencia y ecotoxicidad de esos productos en los suelos.

3.6. Cultivo intensivo de café bajo sombra de guaba

El cultivo de café (*Coffea arabica* var. Catimor) en la Alta Amazonía se encuentra casi siempre asociado con especies arbóreas que mejoran los suelos. El género *Inga* es el más usado y se conocen más de 30 especies que se usan para tal fin en los diferentes países. Ha quedado demostrado que las guabas, producen la mayor cantidad de hojarascas, con lo cual se garantiza un mantillo anti erosivo sobre el suelo de buena calidad. **(BRACK, 1993).**

3.6.1. Manejo de la asociación

Los árboles de *Inga* sp. se mantienen a una densidad de 70 a 120 plantas por hectárea con podas periódicas anuales (manejo de sombra). La densidad no es constante, es mayor en áreas donde el terreno tiene inclinación hacia el oeste y menor en inclinaciones hacia el este. La sombra nunca debe exceder a un 40% del filtraje de luz. La poda de la sombra se realiza bajo este criterio al final de la última cosecha, realizando una poda parcial de las ramas excedentes, para lograr así mayor luminosidad temporal antes de la floración del café. **(BRACK, 1993)**

3.7. Cambio climático

A partir de 1979, los científicos comenzaron a afirmar que un aumento al doble en la concentración del CO₂ en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la tierra de entre 1,5 °C y 4,5 °C.

Estudios recientes sugieren que el calentamiento se produciría con mayor rapidez sobre la tierra firme que sobre los mares. Así mismo, el calentamiento se produciría con retraso respecto al incremento en la concentración de los gases con efecto invernadero. Al principio los océanos más fríos se orientarán a absorber una gran parte del calor adicional, retrasando el calentamiento de la atmósfera. Sólo cuando los océanos lleguen a nivel de equilibrio con los más altos niveles de CO₂ se producirá el calentamiento final.

Como consecuencia del retraso provocado por los océanos, los científicos no esperan que la tierra se caliente todos los 1.5 °C – 4.5 °C hasta hace poco previstos, incluso aunque el nivel de CO₂ suba a más del doble y se añadan otros gases con efecto invernadero. La temperatura media de la tierra ha crecido unos 0.6 °C en los últimos 130 años.

Los estudios más recientes indican que en los últimos años se está produciendo, de hecho, un aumento de la temperatura media de la tierra de algunas décimas de grado. Dada la enorme complejidad de los factores que afectan al clima es muy difícil saber si este ascenso de temperatura entra dentro de la variabilidad natural (debida a factores naturales) o si es debido al

aumento del efecto invernadero provocado por la actividad humana.
(ECOSUR, 2002)

ROMERO (1996), afirma que a mayor concentración de gases con efecto invernadero se producirá mayor aumento de la temperatura en la Tierra.

3.7.1. Consecuencias del cambio climático

ECOSUR (2002), manifiesta que no es posible predecir con gran seguridad lo que pasaría en los distintos lugares, pero es previsible que los desiertos se conviertan en más cálidos, lo que tendría graves consecuencias en el Oriente Medio y en África donde el agua es escasa. Entre un tercio y la mitad de todos los glaciares del mundo y gran parte de las grandes masas de hielos en las zonas polares se fundirían, poniendo en peligro las ciudades y campos situados en los valles que se encuentran por debajo del glaciar. Grandes superficies costeras podrían desaparecer inundadas por las aguas que ascendieran de 0.5 a 2 metros, según diferentes estimaciones.

Así mismo, agrega que las tierras agrícolas se convertirían en desiertos y, en general, se producirían grandes cambios en los ecosistemas terrestres. Estos cambios supondrían una gigantesca convulsión en nuestra sociedad que en un tiempo relativamente breve tendría que hacer frente a muchas obras de contención del mar, emigraciones de millones de personas, cambios en los cultivos, etc.

3.8. El mundo se está calentando

Los efectos de este incremento ya se están haciendo notar. Desde fines del siglo XIX a la fecha la temperatura global aumentó en 0,6 °C. La década de 1990 fue la más cálida que se haya registrado.

En tanto la capa de hielo que cubre el Océano Ártico ha disminuido su espesor de 3,1 a 1,8 m desde los fines de la década de 1950. En pocas palabras, el aumento de los niveles de carbono atmosférico no puede continuar. Un incremento en tan solo 200.000 millones de toneladas determinaría un aumento de 2 a 3 grados Celsius en la temperatura global, lo que significaría una ola de calor sin precedentes en la historia de la humanidad. Si se agregan 300 millones o un volumen superior, el resultado sería catastrófico especialmente porque podrían dispersarse efectos incontrolables que harían inhabitables el planeta. Hay todavía más de 4 billones de toneladas de carbono bajo la forma de combustibles fósiles, a la espera de ser extraídos y quemados, de los cuales las tres cuartas partes bajo la forma de carbón, todo parece indicar que la mayor parte de este material debe ser dejado bajo la tierra. **(LOHMANN, 2002)**

3.9. Ciclo del carbono

GONZALES et al., (2000), afirman que la fotosíntesis toma el CO₂, agua y produce carbohidratos y oxígeno. Plantas y animales respiran, pero solo las plantas (y otros productores como las cianobacterias) pueden realizar fotosíntesis, el CO₂ convertido en carbohidratos en las plantas tiene tres rutas

posibles: puede liberarse a la atmósfera con la respiración, puede ser consumido por los animales o es parte de la planta hasta que esta muera.

Informan también que los animales obtienen todo el carbono de su alimento, así que todo el carbono en el sistema biológico proviene al final de los organismos autótrofos. En los animales, el carbono tiene las mismas rutas cuando las plantas y animales mueren pueden ocurrir dos hechos: la energía contenida en las moléculas es utilizada por los descomponedores (bacterias y hongo en el suelo) y el carbono es liberado a la atmósfera de CO_2 o puede permanecer intacto y finalmente transformarse en combustible mineral. Los combustibles fósiles al ser utilizados liberan CO_2 a la atmósfera.

Por su parte **ECOSUR (2002)**, indica que las plantas incorporan el anhídrido carbónico de la atmósfera y de los océanos al transformarlo en compuestos orgánicos, convirtiendo la energía de la luz en enlaces C-C. Las plantas también producen anhídrido carbónico por su respiración. Los animales producen anhídrido carbónico derivado de la utilización de los hidratos de carbono y otros productos producidos por las plantas.

Además, el mismo autor menciona que los combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y la madera, generan anhídrido carbónico al ser utilizado. La actividad humana incrementa en grandes proporciones la concentración de anhídrido carbónico en el aire. Dado que este a diferencia de otros compuestos de la atmósfera absorbe el calor reflejado desde la tierra,

incrementa la temperatura global y produce lo que ha dado llamarse “efecto invernadero”.

3.10. Asimilación del CO₂ y carboxilaciones fotosintéticas

El vegetal necesita fabricar hidratos de carbono para poder obtener energía acumulada en forma más estable y que le sirva para reutilizarla en otro tipo de síntesis. La síntesis de hidratos de carbono en las células fotosintéticas, se lleva a cabo a partir de la energía almacenada en el ATP y el NADPH₂ formado durante los procesos fotoquímicos y el carbono extraído de su forma oxidada.

En la planta la concentración de carbono (C), es alrededor de 40% lo que demuestra la capacidad formidable de la fotosíntesis para concentrar carbono en los tejidos vegetales. La tasa de concentración o tasa de crecimiento debe ser mantenida por una adecuada tasa de absorción del CO₂, proceso que en los cultivos está condicionado tanto por factores del medio ambiente como por factores propios del medio ambiente. **(Pinto, 1994)**

3.11. Transformación y utilización del sustrato fotosintético

El destino principal de los hidratos de carbono que llega a los órganos receptáculos, es servir de base para la síntesis de material vegetal mas estable. La fabricación de estos productos, se llevará a cabo en gran medida por intermedio del ciclo respiratorio, entendiéndose por esto el desdoblamiento de glúcidos en la glicólisis, la obtención de compuestos intermediarios en el ciclo de Krebs y la obtención de ATP en la fosforilación oxidativa **(Pinto, 1994)**.

3.12. Efecto invernadero

Aumento de temperatura en la biosfera causado por la atmósfera, sin la presencia de los efectos térmicos de la atmósfera, la temperatura media debida a la radiación solar y al calor inferior de la tierra, serie de 18° C (225° K) las propiedades de ciertos gases en la atmósfera elevan esa temperatura media global a más de 15° C (228° K) (**MAISONNAVE, 1997**).

Por otro lado **ECOSUR (2002)**, menciona que los gases de invernadero ocurren naturalmente en la atmósfera. Absorbiendo la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra, tienen un efecto de protección sobre ella: esto se conoce como el efecto invernadero natural. Además el vapor de agua es el más importante de los gases de invernadero en términos de la atmósfera, aunque no es directamente afectado por la actividad humana. Aquellos que si son afectados por la actividad humana incluye el bióxido de carbono (CO₂), metano, óxido nítrico, los clorofluorocarbonos (CFCs) y ozono. Estos gases absorben más del 90 % de la radiación infrarroja que es emitida desde la tierra. Como resultado, el calor es atrapado en la atmósfera, creando una temperatura superficial promedio de 15° C. Sin estos gases de invernadero, la superficie de la tierra sería alrededor de 30 °C más fría. Recientemente, la concentración de gases de invernadero ha crecido rápidamente, produciendo un gran efecto invernadero.

3.12.1. Gases de invernadero

ECOSUR (2002), indica que el CO₂ es el más importante gas de invernadero resultante de la actividad humana. Durante los pasados

200 años, la concentración de CO₂ se ha elevado de 280 partes por millón (ppm) a 350 ppm. Este incremento en cantidad de CO₂ en la atmósfera ha contribuido en aproximadamente en el 70 % del efecto invernadero producido por la humanidad, el metano al 23 % y el óxido nitroso al 7 %. Además resalta que seis millones de toneladas de carbón cada año son emitidas a la atmósfera en la forma de CO₂, como resultante de la quema de combustibles fósiles.

El mismo autor afirma que los gases de invernadero son un problema global. Noventa y cinco por ciento de las emisiones industriales de CO₂ son producidas en el Hemisferio Norte, lugar donde están ubicados los países industriales. La otra causa mayor en el incremento de la concentración de CO₂ es el cambio de uso de la tierra. La vegetación y la tierra de las áreas forestales retienen de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas. Cuando los bosques son convertidos en tierras para agricultura o ganadería, gran parte de este carbono se libera hacia la atmósfera. La liberación total de carbono por la deforestación desde 1850 ha sido aproximadamente de 120 billones de toneladas. Actualmente, la pérdida anual es de aproximadamente 17 millones de hectáreas de bosque cada año. Libera cerca de 1.8 billones de toneladas de carbono (cerca de 20 % de las emisiones totales).

Finalmente, afirma que es posible revertir la pérdida de carbono reforestando la tierra, y así recapturar el CO₂ de la atmósfera. Este

sistema, conocido como captura de carbono, podría contribuir significativamente a reducir el calentamiento global. Dichos gases son en orden de importancia de sus efectos: vapor de agua; CO₂; (CFC) x; CH₄; N₂O, y O₃. Otros gases, incluidos el N₂ y el O₂ tienen, influencia térmica. El efecto respectivo es aproximadamente: 46 %, 25 %, 13 %, 8 % y 4 %. El 4 % restante corresponde a otros gases. No se incluye aquí el vapor de agua. **(MAISONNAVE, 1997).**

3.13. Captura de Carbono

ECOSUR (2002), indica que el concepto de captura de carbono normalmente se relaciona a la idea de almacenar reservas de carbono en suelos, bosques y otros tipos de vegetación, donde dichas reservas están en peligro inminente de ser perdidas. También, se promueve el incremento de las reservas de carbono por el establecimiento de nuevas plantaciones forestales, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados. Conservación, reforestación y un manejo optimizado de la administración de bosques son los principales métodos mediante los cuales el carbono atmosférico puede ser capturado.

Además indica que en teoría, el efecto de la captura por procesos de forestación puede ser cuantificado estimando el almacenamiento de carbono en la biomasa de la tierra y los productos de madera.

3.13.1. Carbono capturado por diferentes especies de plantas

El establecimiento de plantaciones forestales en áreas que previamente se usaron como pastizales pueden incrementar el nivel de carbono almacenado en la vegetación en 120 t C/ha. Mediante el cultivo de árboles madereros y frutales intercalados con cultivos anuales, tales como el maíz y cultivos perennes como el café, se pueden capturar alrededor de 70 t C/ha. Donde los bosques cerrados están bajo amenaza, su protección puede evitar pérdidas hasta de 300 t C/ha; y allí donde los bosques están destruidos o degradados, un cuidadoso manejo de recursos y restauración forestal puede aumentar el almacenamiento de carbono en casi 120 t C/ha. (ECOSUR, 2002).

3.13.2 Costo de carbono capturado

Actualmente, el costo promedio de captura de carbono en el proyecto de Chiapas México se estima en \$ 10 US por tonelada de carbono y los "Proto – Créditos de carbono" se puede conseguir a este precio. En un principio, la Federación Internacional de Automovilismo, a accedido a comprar 5.000 toneladas de carbono anuales en créditos, a través de la Internacional Carbón Sequestration Federation, para así compensar la emisión de carbono generada en las competencias de Formula 1. (ECOSUR, 2002).

3.13.3 Carbono almacenado

ARÉVALO et al., (2002), afirma que el concepto de carbono almacenado, se relaciona a la capacidad del bosque de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual esta en función a su heterogeneidad afectados por las condiciones del suelo y clima. Los árboles tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono de la atmósfera basada en el hecho de que la fotosíntesis absorbe el dióxido de carbono, que luego utilizan para generar el alimento necesario para su crecimiento, estimándose en la actualidad que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 t, de carbono de la atmósfera dependiendo de las condiciones del lugar. Se asume que el 45 % de la biomasa vegetal total es carbono. Por lo tanto, en los bosques existe acumulación de carbono que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar entre 150 y 382 t/ha. Por lo tanto la capacidad máxima de carbono almacenado varia entre 67,5 a 171 t/ha.

3.13.4. Carbono secuestrado

Es el carbono que se esta fijando en forma continua en cualquier sistema de uso de la tierra como consecuencia de alguna intervención sobre áreas degradadas o en proceso de degradación. Estas intervenciones pueden ser programas de manejo de suelos con reforestación, agroforesteria o conservación de suelos. Generalmente para hacer el estimado de estos flujos de carbono que se dan en

toneladas de carbono por hectárea y año (t/ha/año) se seleccionan diferentes sistemas de uso de la tierra cuyos antecedentes (Tiempo de uso principalmente) son conocidos por los agricultores que van desde el bosque primario, áreas quemadas para cultivos anuales o plantaciones perennes, bosques secundarios de diferentes edades, pasturas y sistemas agroforestales, barbechos mejorados, silvopastoriles, etc. **(ARÉVALO et al., 2002)**

Desde el punto de vista forestal, el secuestro de carbono puede ser considerado como el mecanismo de captura y el almacenamiento seguro del carbono de la atmósfera producido por la actividad natural o industrial. Se considera a este mecanismo como una contraparte potencial, natural y manejable para el balance del carbono en la naturaleza. **(<http://lufro.boku.ac.at/>)**

3.14. Cambio de usos de la tierra y pérdidas de carbono almacenado

El cambio de uso de la tierra esta definida, cuando una tierra originalmente cubierta de bosques, pasa luego a ser utilizado para fines agropecuarios, produciéndose desde el punto de vista forestal una degradación o como mínimo una deformación del uso de la tierra forestal.

Estos cambios se dan por procesos de deforestación sin considerar su reposición; lo que conlleva a una disminución de la cantidad total de biomasa vegetal y por ende la cantidad de carbono capturado por los nuevos sistemas de uso de la tierra. **(ARÉVALO et al., 2002)**

3.15. Concentración de carbono en el suelo

PINTO (1994), reporta que la planta concentra alrededor de 40% de carbono en los tejidos vegetales, lo que demuestra la capacidad formidable de la fotosíntesis.

ARÉVALO et al., (2000), indican que las plantas tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono de la atmósfera, basado en el hecho de que luego utiliza para generar alimento necesario para su crecimiento, estimándose en la actualidad que en una hectárea la plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 T de C de la atmósfera dependiendo de las condiciones del lugar.

www.fao.org. (2003), manifiesta que la captura de carbono se refiere al almacenamiento de carbono en forma sólida y estable, esto puede suceder a través de la fijación directa o indirecta del CO₂ atmosférico. En el suelo, la captura de carbono en forma directa se presenta a partir de reacciones químicas que convierten el CO₂ en compuestos inorgánicos de carbono tales como carbonatos de calcio y magnesio. Los suelos pueden secuestrar cerca de 20 Pg/ha de carbono en 25 años, más del 10 % de las emisiones antropogénicas. Al mismo tiempo esto proporciona otros beneficios importantes para el suelo, los suelos y la calidad del ambiente, para la prevención de la erosión y de la desertificación y para el fortalecimiento de la biodiversidad.

También menciona que los suelos son un excelente medio de reciclaje debido a su habilidad para absorber, intercambiar y oxidar casi cualquier tipo de

materia. Debido a su actividad catalítica, permiten una rápida reincorporación de los materiales a sus ciclos naturales; al retener compuestos y elementos químicos establecen un balance entre los residuos y la disponibilidad de materia, en particular la orgánica para las plantas.

Schimel, 1998 y Oren, 2001 afirman que la formación de complejos estables entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido de arcillas en el suelo. Los suelos arenosos carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica y es imposible lograr la absorción y estabilización del carbono en ellos, pero los suelos en su mayoría arcillosos tienen una capacidad determinante en la absorción del carbono. Y esto corrobora con nuestra afirmación ya que los suelos analizados en el laboratorio han sido franco arcillosos.

INIFAP, 1997 nos expresa que, mas del 50 % del carbono asimilado por los suelos proviene de la dinámica desarrollada por la vegetación, por el desprendimiento de hojas y putrefacción de estas, pequeños restos de ramas y hojas leñosos y raíces muertas.

3.16. Carbono en coberturas

Los abonos verdes y los cultivos de cobertura pueden proporcionar una importante contribución al carbono del suelo como demuestran las experiencias en América Latina. En América Central hay cerca de 45 000 agricultores que han adoptado sistemas basados en la mucuna (leguminosa que se utiliza como planta de cobertura) por medio de los cuales se pueden

fijar cerca de 150 kg/ha/N/año y pueden ser añadidas al suelo 35-50 t/ha/año de biomasa. Esto representa una gran captura de carbono (www.fao.org/, 2003).

3.17. Presencia del carbono

[www.fao.org.](http://www.fao.org/) (2003), afirma que la captura de carbono en forma directa se presenta a través de la fotosíntesis convirtiendo al CO₂ en biomasa, posteriormente, parte de esta biomasa es indirectamente capturada como carbono orgánico del suelo durante los procesos de descomposición. Así pues, la cantidad de carbono capturado en un sitio refleja el balance a largo plazo entre las entradas y las salidas de carbono en el sistema.

También resalta que el carbono superficial de los ecosistemas forestales tropicales, varía entre 25 y 250 t/ha, no obstante, la reducción de la deforestación y el incremento de las medidas para la protección de bosques ofrecen una manera efectiva en cuanto a costo, para reducir las emisiones de CO₂. Además, los contenidos de carbono dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados – degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra

3.18. Carbono en el Bosque

Como regla general, cerca de la mitad del peso del árbol maduro es carbono elemental. Mientras el árbol está vivo y productivo, remueve más carbono que el que devuelve a la atmósfera. (<http://lead.virtualcenter.org/>, 2003).

Brow y Lugo (1992), manifiestan que en bosques tropicales, los sumideros de carbono en el suelo varían entre 60 y 115 ton.C/ha, así mismo en un sistema agroforestal después de 9 años alcanza un valor de 24,1 t C/ha.

3.19. Trabajos realizados en captura de carbono

ECOSUR, (2002), menciona que las cantidades almacenadas de carbono dependen principalmente de la densidad y las edades de las especies, tipo de suelo, condiciones climáticas, altitud, del manejo agrícola actual y del uso anterior de la tierra, así mismo esta no supera a las 30 t/ha. El carbono acumulado en los cafetos no supera las 10 t/ha, para especies arábicas y densidades de 4000 a 5000 cafetos/ha, el carbono almacenado en el suelo puede alcanzar 220 t/ha.

Los autores, **CRAMER y KONER (2000)**, manifiestan que en investigaciones realizadas sobre secuestro de carbono afirman que la masa vegetal integra alrededor del 90% de la captación de carbono.

Según **ARÉVALO et al., (2000)**, reportan que trabajos realizados en la ciudad de Yurimaguas, en un bosque secundario de 3 años obtuvieron 3,44 t/ha de carbono en hojarasca; en bosque secundario de 5 años encontraron 2,96 t/ha de carbono en hojarasca; y en un sistema agroforestal obtuvieron 6,09 t/ha de carbono en hojarasca.

Además, afirman que en la ciudad de Pucallpa en un bosque primario mediante una selección selectiva, obtuvieron 1,83 t/ha de carbono en hojarasca y en un bosque secundario de 3 años tuvieron como resultado 5,90 t/ha de carbono en hojarasca.

OUPOVEY et al (1999), mencionan que los residuos superficiales de los cultivos en si misma son partes importantes del agrosistema. Del mismo modo los residuos, de los bosques pueden llegar de 8 a 9 Kg.C./ m², en los bosques de zona templada y de 5 o 6 Kg.C./ m² en un bosque tropical.

3.20. Biomasa vegetal

Se conoce como biomasa vegetal al conjunto de materia orgánica, de origen vegetal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial.

- Residuos forestales procedentes de diversos tratamientos selvícolas, como entresacas, podas o limpieza de matorrales.
- Residuos agrícolas de diferentes podas de cultivos leñosos como olivos, vides y frutales. También residuos de cultivos de cereales como el centeno, maíz, trigo, sorgo o arroz e incluso se utilizan los residuos de otros cultivos herbáceos como el tabaco, remolacha, algodón y girasol.
- Residuos de industrias forestales, procedentes en su mayoría de industrias de tratamiento de madera, chapa de madera, corcho o papel. (<http://waste.ideal.es/biomasa.htm/>).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Ubicación del campo experimental

El presente trabajo se realizó en el Caserío de Chirapa, comprensión del Distrito de Rumizapa, provincia de Lamas, Departamento de San Martín.

a) Ubicación geográfica

Latitud sur	:	6° 22'
Latitud Oeste	:	76° 25'
Altitud	:	710 m.s.n.m.

b) Ubicación Política

Caserío	:	Chirapa
Distrito	:	Rumizapa
Provincia	:	Lamas
Departamento	:	San Martín

4.2. Historia del campo experimental

El área del presente trabajo anteriormente fue bosque primario, luego pasó a ser deforestado para instalar cultivos de pan llevar como maíz, yuca, frijol, plátano, etc. Posteriormente, se sembró café y en la actualidad este cultivo prima para satisfacer las necesidades básicas de los agricultores.

4.3. Clima

Los datos meteorológicos corresponden desde el inicio del proyecto hasta la culminación de la misma.

Cuadro N° 01: Datos meteorológicos de **septiembre a febrero** del 2003.

Meses	Temperatura °C			H.R.	PP.
	Máxima	Media	Mínima	%	Mm
Septiembre	27.50	23.50	19.50	78.00	130.90
Octubre	27.30	23.60	20.70	80.00	125.00
Noviembre	26.50	23.30	21.30	84.00	110.00
Diciembre	27.90	23.50	21.50	82.00	95.90
Enero	26.00	22.00	20.00	83.90	125.00
Febrero	25.90	22.30	19.90	79.00	120.00
Total	161.10	138.20	122.90	486.90	706.80
Promedio	26.85	23.03	20.48	81.15	117.80

Fuente: SENAMHI – SAN MARTÍN – 2003.

4.4. Vegetación

En el área de estudio se pudo observar especies arbustivas y arbóreas siendo las especies más representativas; Café (*Coffea arabica*), Guaba (*Inga edulis*), plátano (*Musa sp.*), Shaina (*Columbrina glandulosa*), Pucaquiro (*Sickingia sp.*), Ishpingo (*Amburana cearensis*) y Bolaina (*Guasuma sp.*).

4.5. Vía de Acceso

Para llegar a la zona de estudio se recorre la Carretera Marginal Sur "Fernando Belaunde Terry", a la altura del Km. 10, se desvía al Distrito de Cacatachi para luego continuar por la carretera que conduce hacia la Comunidad de Chirapa.

4.6. Diseño del experimento

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con un total de 5 tratamientos y 5 repeticiones, como se describe a continuación:

Cuadro 1: Tratamientos en estudio.

Nº de tratamiento	Sistema agroforestal	Edad
T ₁	Café + guaba	3 años
T ₂	Café + guaba	4 años
T ₃	Café + guaba	5 años
T ₄	Café + guaba	6 años
T ₅	Bosque primario	Testigo

Cuadro 2: Análisis de varianza del experimento

Fuente de Variabilidad	G.L.
Bloques	5 - 1 = 4
Tratamientos	5 - 1 = 4
Error	16
Total	24

Fuente: Calzada (1970).

4.7. Característica del experimento

a) Área de la parcela evaluada

- Largo = 25.0 m.
- Ancho = 4.0 m.
- Área total = 100.0 m².

b) Cálculo de biomasa vegetal (no incluye raíces)

$$\text{Biomasa aérea arbórea} = 0.1184 \text{ DAP}^{2.53}$$

Donde:

DAP : Diámetro a la altura del pecho
0.1184 y 2.53 : Constantes

$$\text{Biomasa de árboles caídos muertos} = 0.4 \text{ DAP}^2 \text{ L } 0.25 \pi$$

Donde:

DAP : Diámetro a la altura del pecho
L : Largo del tronco
 π : 3.1416
0.4 y 0.25 : Constantes

c) Cálculo del contenido de carbono de la biomasa vegetal:

$$\text{Contenido de Carbono} = B \times 0.45$$

Donde:

CC : Contenido de carbono
B : Biomasa vegetal
0.45 : Constante (proporción de carbono, asumido por convención)

d) Cálculo de la densidad aparente del suelo:

$$\text{DA} = \text{PSS} / \text{VcH}$$

Donde:

DA : Densidad aparente
PSS : Peso seco del suelo
VcH : Volumen cilindro Uhland (constante)

e) Cálculo del volumen del suelo:

$$\text{Volumen de suelo} = DA \times Ps$$

Donde:

Vs	:	Volumen de suelo
DA	:	Densidad aparente
Ps	:	Profundidad del horizonte del suelo
10 000	:	constante

f) Cálculo del carbono total:**a. Cálculo de carbono en la Biomasa Vegetal**

$$CB = CAb + CAvHb + CH$$

Donde :

CB	:	Carbono en la biomasa.
CAb	:	Carbono aéreo.
CAvHB	:	Carbono arbustivo y herbáceo.
CH	:	Carbono en hojarasca.

b. Cálculo del carbono en el suelo

$$CS = Vs \times CL$$

Donde:

CS	:	Carbono en el suelo
Vs	:	Volumen del suelo
CL	:	Resultados de "C" dado por el laboratorio

c. Cálculo del carbono total del SUT

$$CT = CB + CS$$

Donde:

CT	:	Carbono total del SUT
CB	:	Carbono en la biomasa vegetal total
CS	:	Carbono en el suelo

4.8. Parámetros evaluados

a. Biomasa aérea arbórea

Este parámetro se refiere a la medición que se hizo tanto a los árboles del bosque primario y los árboles de guaba. Los datos se obtuvieron midiendo el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y considerando una densidad aparente de 0,45, cabe mencionar que se tomaron 10 plantas al azar por unidad experimental.

b. Arbustiva

El cálculo de carbono en las arbustivas del sistema agroforestal se realizó teniendo en cuenta la densidad de plantas de café, tomando como muestra 10 plantas al azar cortando a partir de la base del tallo. Cada planta extraída se pesó y luego se sacó una sub muestra que también fue pesada. Después la sub muestra se llevó al laboratorio para secar a una temperatura constante de 70 °C por espacio de tres días, y determinar por último la cantidad de carbono existente en cada planta. En el caso del bosque primario (testigo) para determinar la cantidad de carbono, se delineó cinco áreas, cada uno de 1 m² y se procedió con el mismo proceso del sistema agroforestal.

Cabe mencionar que las evaluaciones en el sistema agroforestal de café bajo sombra de guaba (*Inga sp*), se realizó cuando las plantas de café estuvieron en estado de llenado de granos (frutos verdes).

c. Hojarasca

En este caso para determinar el contenido de carbono se delineó dos áreas de 1m² por cada unidad experimental, extrayendo toda la hojarasca y restos vegetales existente, se peso toda la muestra y se sacó una sub muestra para llevar al laboratorio y secarlo a una temperatura constante de 70 °C por espacio de tres días.

d. Suelo

Después de haber sacado todos los restos vegetales (hojarascas y pequeños restos de ramas y hojas descompuestas) de las dos áreas de 1 m² cada uno se pasó a recoger la muestra de suelo a una profundidad de 5 cm y esta muestra fue llevada al laboratorio para su análisis respectivo.

Análisis físico químico del suelo

Cuadro 02: Análisis físico químico a 5 cm. del suelo.

Muestra	Resultados	Interpret.	Método
Textura		Frc. Arcilloso	
Arena	40.4 %		
Arcilla	39.6 %		
Limo	20.0 %		
Densidad Aparente	1.1 g/cc		
Conductividad Eléctrica	0.11 mmho	Bajo	Conductímetro
pH	5.5	Ligera / ácido	Potenciómetro
Materia Orgánica	2.03%	Medio	Walkle Blac Mod
Fósforo disponible	9.0 ppm	Medio	Ac. Ascórbico
Potasio Inter.	0.27 meq/l	Medio	Tetra Borato
Calcio + Magnesio	7.50 meq/l	Medio	Titulación EDTA
Nitrógeno	0.0915 %	Medio	Cálculos

Fuente: Laboratorio de suelo de la UNSM.

V. RESULTADOS

5.1. Carbono acumulado en la biomasa arbustiva (café y bosque primario).

En los cuadros 3 y 4 se presentan los análisis de varianza y la prueba de Duncan, para el carbono acumulado en el cultivo de café.

Cuadro 3: Análisis de varianza para carbono acumulado en el cafeto, en Kg.ha^{-1} .

F. de V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	Signif.
Bloques	4	54047.02	13511.75	1.33	**
Tratamientos	4	7610057.72	1902514.43	187.31	
Error	16	162511.26	10156.95		
TOTAL	24	7826615.99			

** : Altamente Significativo

R^2 : 97.92 %

C. V.: 6.68 %

Sx: 100.78

x: 1511.57

Cuadro 4: Prueba de Duncan para carbono acumulado en el cultivo de cafeto, en Kg.ha^{-1}

Trat.	Descripción	Carbono Kg.ha^{-1}	Porc. (%)	Duncan (0,05)
T ₃	<i>Coffea arabica</i> (5 años)	2 408.12	31.86	a
T ₄	<i>Coffea arabica</i> (6 años)	1 718.00	22.73	b
T ₂	<i>Coffea arabica</i> (4 años)	1 387.12	18.35	c
T ₁	<i>Coffea arabica</i> (3 años)	1 323.40	17.51	c
T ₅	Bosque primario	721.19	9.55	d

5.2. Carbono acumulado en la biomasa arbórea (guaba y bosque primario)

En los cuadros 5 y 6 se presentan los análisis de varianza y la prueba de Duncan, para el carbono acumulado en el cultivo de guaba (*Inga edulis*)

Cuadro 5: Análisis de varianza para carbono acumulado en el cultivo de guaba, en Kg.ha⁻¹.

F. de V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	Signif.
Bloques	4	519574.85	129893.71	1.04	**
Tratamientos	4	20165567745.25	5041391936.31	40361.36	
Error	16	1998502.22	124906.39		
TOTAL	24	20168085822.32			

** : Altamente Significativo

R²: 99.99 %

C. V.: 1.57 %

Sx: 353.42

x: 22522.26

Cuadro 6: Prueba de Duncan para carbono acumulado en el cultivo de guaba, en Kg.ha⁻¹

Trat.	Descripción	Carbono Kg.ha ⁻¹	Porc. (%)	Duncan (0,05)
T ₅	Bosque primario	79 008.40	70.16	a
T ₄	<i>Coffea arabica</i> (6 años)	12 806.76	11.37	b
T ₃	<i>Coffea arabica</i> (5 años)	10 304.96	9.15	c
T ₂	<i>Coffea arabica</i> (4 años)	6 196.86	5.50	d
T ₁	<i>Coffea arabica</i> (3 años)	4 294.40	3.82	e

5.3. Carbono acumulado en la hojarasca

En los cuadros 7 y 8 se presentan los análisis de varianza y la prueba de Duncan, para el carbono acumulado en hojarasca.

Cuadro 7: Análisis de varianza para carbono acumulado en hojarasca, en

Kg.ha⁻¹

F. de V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	Signif.
Bloques	4	1812218.13	453054.53	0.96	**
Tratamientos	4	88661165.84	22165291.46	46.74	
Error	16	7587168.57	474198.04		
TOTAL	24	98060552.53			

** : Altamente Significativo

R²: 92.26 %

C. V.: 12.82 %

Sx: 688.62

x: 5 370.18

Cuadro 8: Prueba de Duncan para carbono acumulado en hojarasca, en

Kg.ha⁻¹.

Trat.	Descripción	Carbono Kg.ha ⁻¹	Porc. (%)	Duncan (0,05)
T ₄	<i>Coffea arabica</i> (6 años)	7 900.46	29.42	a
T ₅	Bosque primario	6 582.20	24.51	b
T ₂	<i>Coffea arabica</i> (4 años)	5 918.02	22.04	b
T ₁	<i>Coffea arabica</i> (3 años)	3 648.34	13.59	c
T ₃	<i>Coffea arabica</i> (5 años)	2 801.90	10.44	c

5.4. Carbono acumulado en el suelo

En los cuadros 9 y 10 se presentan los análisis de varianza y la prueba de Duncan, para el carbono acumulado en los primeros 5 cm del suelo.

Cuadro 9: Análisis de varianza para carbono acumulado en el suelo, en Kg ha⁻¹

F. de V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	Signif.
Bloques	4	17234016.58	4308504.14	0.98	**
Tratamientos	4	4077884061.77	1019471015.44	232.63	
Error	16	70119331.15	4382458.19		
TOTAL	24	4165237409.51			

** : Altamente Significativo

R^2 = 98.32 % C. V = 16.99 % Sx: 2093.43 \bar{x} = 12317.58

Cuadro 10: Duncan para carbono acumulado en los 5 cm. Superiores del suelo en Kg.ha⁻¹

Trat.	Descripción	Carbono Kg.ha ⁻¹	Porc. (%)	Duncan (0,05)
T ₅	Bosque primario	37 500.00	60.89	a
T ₄	<i>Coffea arabica</i> (6 años)	9 749.66	15.83	b
T ₃	<i>Coffea arabica</i> (5 años)	5 922.88	9.62	c
T ₁	<i>Coffea arabica</i> (3 años)	5 301.94	8.60	c
T ₂	<i>Coffea arabica</i> (4 años)	3 113.40	5.05	c

Gráfico 1: Carbono acumulado por tratamiento en Kg/ha.

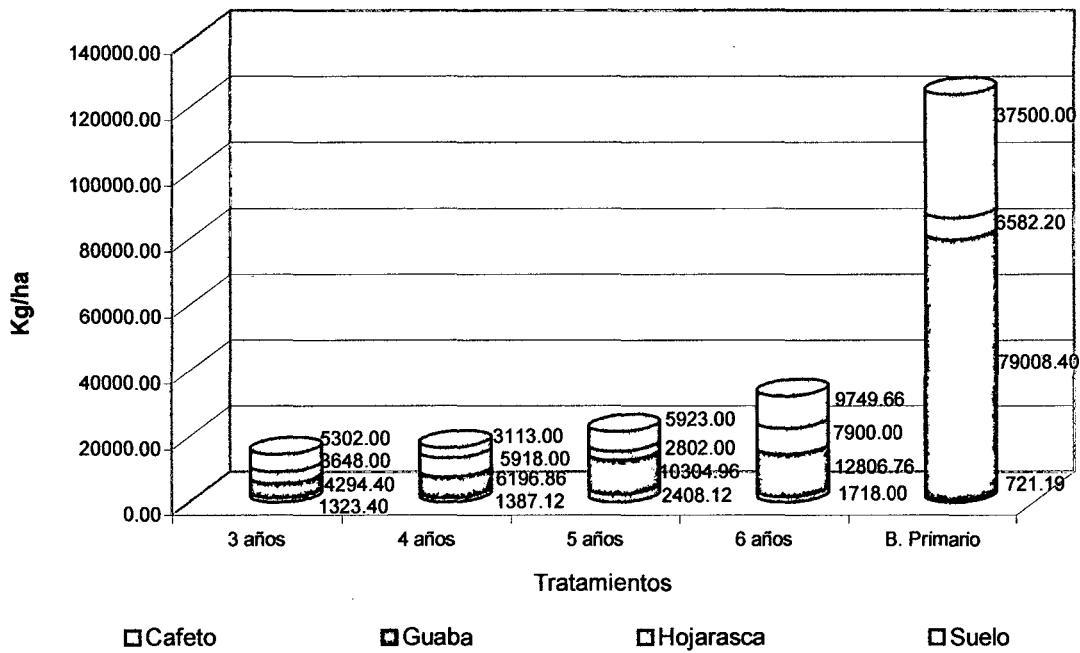


Gráfico 2: Carbono acumulado por parámetro evaluado en Kg/ha.

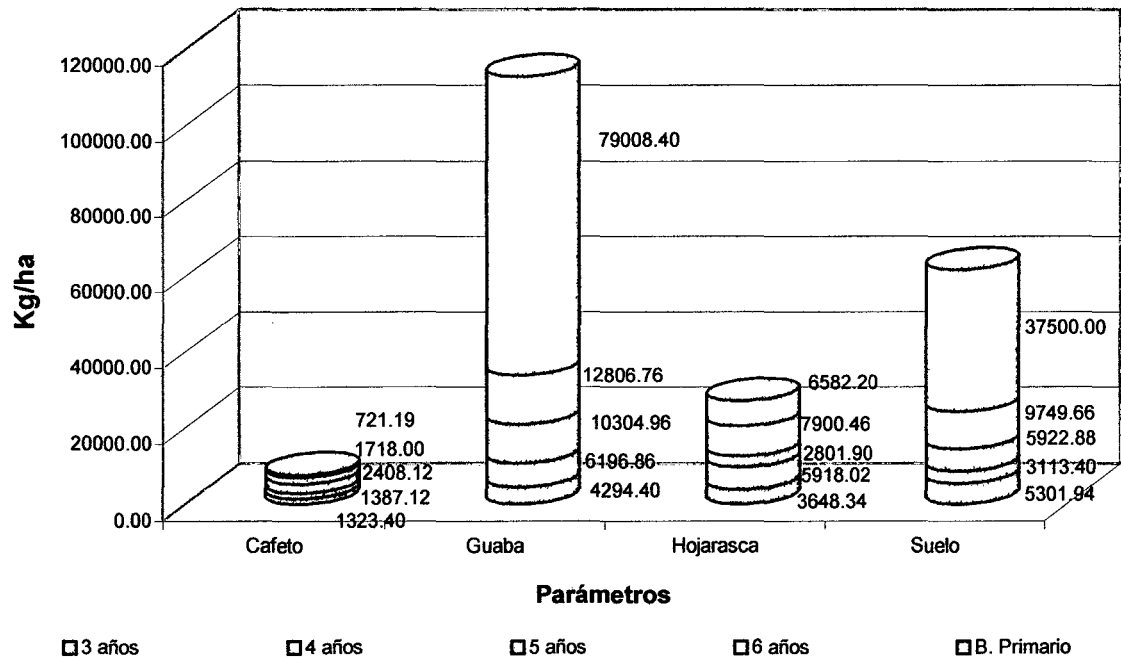
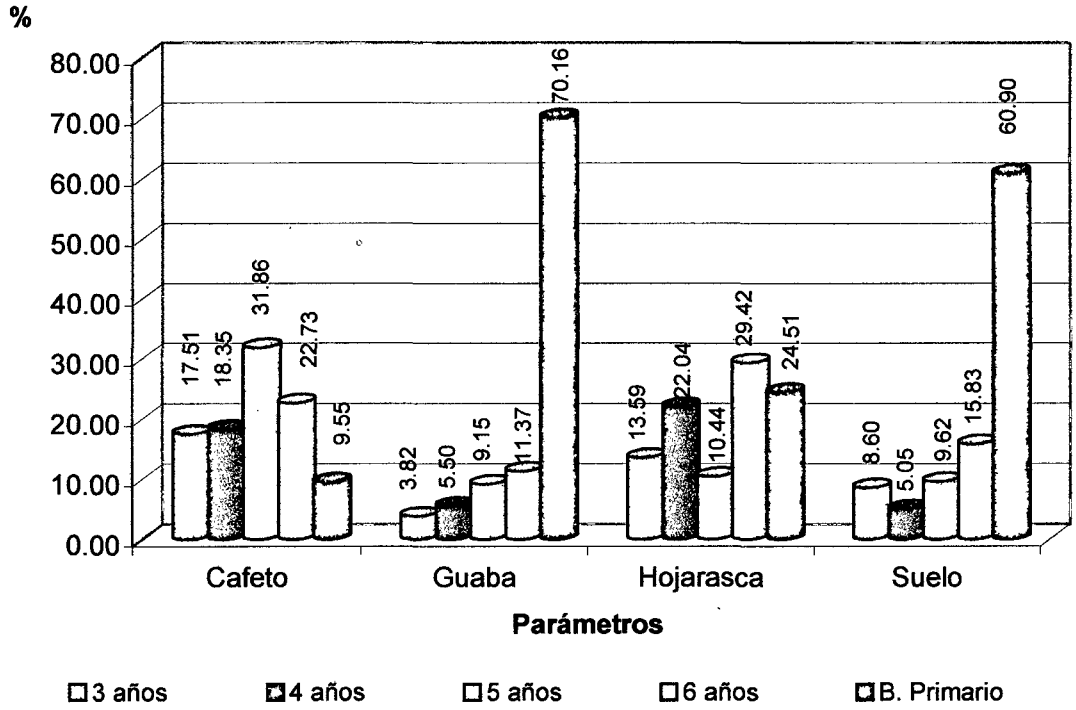


Gráfico 3: Carbono acumulado por parámetro evaluado en porcentaje.



VI. DISCUSIÓN

6.1. Del carbono acumulado en las herbáceas

El Cuadro 3, muestra el análisis de varianza para el carbono acumulado en el cafeto en Kg.ha^{-1} , indicando altamente significativo para los tratamientos. El Coeficiente de Determinación (R^2) de 97.92 % y el Coeficiente de Variabilidad (C. V.) de 6.68 %, muestran la alta relevancia de la variable evaluada con respecto a los tratamientos en estudio, encontrándose dentro de los márgenes permisibles para las evaluaciones en campo, tal como establece Calzada (1970).

Por otro lado en la prueba de Duncan para carbono acumulado en el cafeto en Kg.ha^{-1} (Cuadro 4), corrobora la significancia entre tratamientos, observándose que el T_3 (5 años) con 2 408.12 Kg. C./ha acumuló mayor cantidad de carbono, superando al T_4 (6 años) que obtuvo 1 718.00 Kg. C/ha, así mismo, los tratamientos T_2 , T_1 y T_5 arrojaron promedios de 1 387.12, 1 323.40 y 721.19 Kg. C./ha respectivamente, obteniendo la menor acumulación en comparación con los demás tratamientos en estudio.

La mayor acumulación de carbono en cafeto de 5 años, puede deberse al grosor de los tallos y de las ramas observadas durante la evaluación porque estas partes acumulan mayor cantidad de carbono en su estructura, así mismo a las condiciones de microclima apropiado para el desarrollo del café, tal como menciona **(Pinto, 1994)**, que en la planta la concentración de carbono es alrededor de 40% lo que demuestra la capacidad fotosintética

para concentrar carbono en tejidos vegetales, además también **Arévalo et al., (2000)**, corrobora manifestando que las plantas tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono de la atmósfera, basado en el hecho de que luego utiliza para generar alimento necesario para su crecimiento, estimándose en la actualidad que en una hectárea la plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 t de C de la atmósfera dependiendo de las condiciones del lugar.

6.2. Del carbono acumulado en la biomasa aérea arbórea

El Cuadro 5, muestra el análisis de varianza para el carbono acumulado en la guaba en Kg.ha^{-1} , indicando altamente significativo para tratamientos. El Coeficiente de Determinación (R^2) de 99.99 % y el Coeficiente de Variabilidad (C. V.) de 1.57 %, muestran el alto grado de homogeneidad que existen entre tratamientos, así mismo se encuentran dentro del rango de aceptación para realizar trabajos en campo, tal como establece Calzada (1970).

La prueba de Duncan para la acumulación de carbono en la guaba en Kg.ha^{-1} se muestra en el Cuadro 6; indicando que el T_5 (bosque primario) arrojó la mayor cantidad de carbono acumulado, con un promedio de 79 008.40 Kg. C./ha, superando estadísticamente a los tratamientos T_4 , T_3 , T_2 y T_1 los cuales arrojaron promedios de 12 806.76 Kg. C./ha , 10 304.96 , 6 196.86 y 4 294.40 Kg. C /ha respectivamente.

La biomasa vegetal obtuvo mayor cantidad de carbono esto puede deberse a que la planta a medida que va creciendo y desarrollándose, aumenta la

cantidad de carbono en cada una de sus estructuras, el cual se puede explicar con la afirmación de (<http://lead.virtualcenter.org/>), quien menciona que mientras el árbol esta vivo y productivo, remueve mas carbono que el que devuelve a la atmósfera. Además el contenido de carbono en la planta mantiene una relación de incremento a medida que pasa el tiempo, así mismo los autores **Cramer y Koner, (2000)**, afirman que la masa vegetal integra alrededor del 90% de la captación de carbono.

6.3. Del carbono acumulado en la hojarasca

El Cuadro 7, muestra el análisis de varianza para el carbono acumulado en la hojarasca en Kg.ha^{-1} , indicando altamente significativo para tratamientos. El Coeficiente de Determinación (R^2) de 92.26 % y el Coeficiente de Variabilidad (C. V.) de 12.82 %, muestran el alto grado de homogeneidad que existen entre tratamientos, así mismo se encuentran dentro del rango de aceptación para realizar trabajos en campo, tal como establece Calzada (1970).

En el Cuadro 8 se muestra la prueba de Duncan para acumulación de carbono en la hojarasca en Kg.ha^{-1} , indicando que el T_4 (cafeto de 6 años) con un promedio de 7 900.46 Kg. C./ha superó estadísticamente a los T_5 , T_2 , T_1 y T_3 , los cuales arrojaron promedios de 6 582.20 Kg. C./ha, 5 918.02, 3 648.34 y 2 801.9 Kg. C./ha respectivamente.

Los resultados nos demuestran que el sistema agroforestal superó al bosque primario (testigo), esto puede deberse a que la guaba es una planta que constantemente arroja hojas y ramas, incrementando de esta manera la

concentración de hojarascas y restos orgánicos en el suelo dando como resultado una mayor concentración de carbono. La cantidad de carbono en este parámetro se puede comparar con los trabajos de **Arévalo et al., (2000)**, realizado en la ciudad de Yurimaguas, primero en un bosque secundario de 3 años, donde obtuvo 3,44 t/ha de carbono en hojarasca; segundo en un bosque secundario de 5 años donde encontró 2,96 t/ha de carbono en hojarasca; tercero y ultimo en un sistema agroforestal donde obtuvo un total de 6,09 t/ha de carbono en hojarasca.

Además, en la ciudad de Pucallpa en un bosque primario (extracción selectiva), obtuvo 1,83 t/ha de carbono en hojarasca y en un bosque secundario de 3 años obtuvo 5,90 t/ha de carbono en hojarasca. Además se puede corroborar con los autores **Oupovey et al., (1999)**, quienes mencionan que los residuos superficiales de los cultivos en si misma son partes importantes del agrosistema. Del mismo modo los residuos, de los bosques pueden llegar de 8 a 9 Kg.C./ m², en los bosques de zona templada y de 5 o 6 Kg.C./ m² en un bosque tropical.

Entonces, además con estas afirmaciones podemos mencionar que los sistemas agroforestales y los bosques secundarios concentran mayor cantidad de carbono en las hojarascas, tallos caídos y el suelo dependiendo de la especie de planta que se encuentra en el sistema agroforestal o bosque.

6.4. Del carbono acumulado en el suelo

El Cuadro 9, muestra el análisis de varianza para el carbono acumulado en el suelo en Kg.ha⁻¹, indicando altamente significativo para tratamientos. El

Coeficiente de Determinación (R^2) de 98.32 % y el Coeficiente de Variabilidad (C. V.) de 16.99 %, muestran el alto grado de homogeneidad que existen entre tratamientos, así mismo se encuentran dentro del rango de aceptación para realizar trabajos en campo, tal como establece Calzada (1970).

La prueba de Duncan para carbono acumulado en el suelo (cuadro 10), indica que el T₅ (bosque primario) con 37 500.00 Kg. C./ha arrojó la mayor cantidad de carbono, superando estadísticamente a los T₄, T₃, T₁ y T₂ que arrojaron promedios de 9 749.66 Kg. C./ha , 5 922.88 , 5 301.94 y 3 113.40 Kg. C./ha respectivamente.

En el Grafico 1 se puede observar que el tratamiento 5 fue quien acumuló la mayor cantidad de carbono en el suelo en comparación a los demás tratamientos.

Por otro lado el Gráfico 2 se observa que la mayor cantidad de carbono acumulado por parámetro esta en la biomasa aérea (*Inga edulis*) en comparación con los demás parámetros.

La cantidad de carbono acumulado en el suelo puede ser que se incremente a medida que la planta crece y se desarrolla, ya que en este proceso se observa el desprendimiento de hojas y putrefacción de estas, pequeños restos de ramas y hojas leñosas y raíces muertas. Además la cantidad de carbono acumulado en el suelo también puede incrementarse por que la planta de guaba produce una abundante cantidad de hojarasca, donde

además se garantiza un mantillo anti erosivo sobre el suelo. Esta afirmación puede ser corroborado por **(BRACK, 1993)**, quien menciona que ha quedado demostrado que las guabas, producen la mayor cantidad de hojarascas, con lo cual se garantiza un mantillo anti erosivo sobre el suelo de buena calidad.

Por otro lado el incremento de carbono acumulado en el suelo también puede deberse al tipo de suelo. El suelo analizado fue franco arcilloso y estos suelos tienen mayor capacidad de absorción y logran una mejor estabilización del carbono en comparación a los suelos arenosos.

Además en las zonas evaluadas con estratos de café bajo sombra de guaba se ha podido observar ligeras pendientes en los terrenos, la cual nos puede determinar que las lluvias arrastran a las hojarascas y por ende reduce la mayor cantidad de carbono acumulado. A cerca de estas expresiones también www.fao.org, afirma que los contenidos de carbono dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados – degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra.

La cantidad determinada de carbono en la presente evaluación esta en un rango aceptable ya que **Brow y Lugo (1992)**, mencionan que el depósito de carbono en suelos de bosques tropicales alcanzan valores de 60 a 115 t C/ha y en un sistema agroforestal después de 9 años alcanza un valor de 24,1 t C/ha.

VII. CONCLUSIONES

- 7.1. La biomasa arbórea del bosque primario (testigo) registró la mayor cantidad de carbono almacenado en comparación a los demás tratamientos evaluados, cuyo valor fue de 79 008,40 Kg. C/ha, seguido del café de 6 años con un valor de 12 806.76 Kg. C/ha.
- 7.2. El carbono almacenado en la biomasa arbustiva del bosque primario fue de 721,29 Kg. C/ha, y en la biomasa arbustiva del sistema agroforestal, el valor fue de 2 408,12 Kg. C/ha. (Café de 6 años), superando de esta manera el sistema agroforestal.
- 7.3. Los sistemas agroforestales son una alternativa para capturar carbono en nuestra actualidad, que a la vez evitan la erosión y mejoran el contenido de materia orgánica.
- 7.4. En el sistema agroforestal de café bajo sombra con *Inga edulis*, la máxima cantidad de carbono en hojarasca fue de 7 900.46 Kg. C/ha y en el bosque primario fue de 6 582.20 t C/ha, superando el sistema agroforestal en contenido de carbono al bosque primario.
- 7.5. La mayor cantidad de carbono en el suelo se encontró en el bosque primario (testigo) cuyo valor fue de 37 500 Kg. C/ha y el valor máximo para el sistema agroforestal fue de 9 749,66 (café de 6 años).

- 7.6.** La mayor cantidad de carbono se obtuvo en la biomasa arbórea del bosque primario, en comparación a los demás parámetros evaluados, registrando un valor de 79 008.40 Kg. C/ha, seguido del suelo con 37 500 Kg. C/ha, la hojarasca con 7 900.46 Kg. C/ha, y por ultimo la biomasa herbácea con 2 408.12 Kg. C/ha.

VIII. RECOMENDACIÓN

- 8.1.** La práctica de sistemas agroforestales es un elemento acumulador de carbono y una forma de ampliar este efecto, es la optimización del manejo de la vegetación para maximizar la captura de carbono, por lo cual se recomienda proteger los bosques y el establecimiento de sistemas agroforestales diversificados.
- 8.2.** Realizar trabajos de investigación complementarios en los temas de captura de carbono en diferentes sistemas agroforestales, pero teniendo como primer estrato la planta de café y en otras provincias de la Región San Martín.
- 8.3.** Realizar investigación con otras variedades de café para determinar si existe diferencia alguna en la acumulación de carbono por cada variedad de planta.
- 8.4.** Para trabajos futuros determinar la mayor concentración de carbono en la planta, teniendo como base el ciclo fisiológico del café.
- 8.5.** Realizar trabajos de investigación orientados a observar si los diferentes niveles o pisos altitudinales es un factor determinante para la concentración de carbono en la planta de café.

- 8.6.** La Universidad Nacional de San Martín por medio la Facultad de Ciencias Agrarias tiene que difundir sobre la importancia que tiene la concentración de carbono en los diferentes cultivos instalados y su efecto en el medio ambiente.

IX. RESUMEN

El presente trabajo de Investigación tiene como título “ESTIMACIÓN DEL CARBONO RETENIDO EN LA BIOMASA DEL ESTRATO - CAFE (*Coffea arabica*) BAJO SOMBRA DE GUABA (*Inga* sp.) EN LA PROVINCIA DE LAMAS – PERU”, los objetivos fueron estimar la cantidad de carbono retenido en la hojarasca, en las arbustivas, en la biomasa aérea y en los 5 cm superiores del suelo, en un sistema agroforestal de café bajo sombra de *Inga edulis* y determinar la proporción relativa del aporte en los sistemas agroforestales y establecer la relación entre sus componentes, en el distrito de Rumizapa, provincia de Lamas, Departamento de San Martín. Así mismo se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al azar con 5 tratamientos y 5 repeticiones. Los tratamientos fueron: T₁ (cafeto de 3 años), T₂ (cafeto de 4 años), T₃ (cafeto de 5 años), T₄ (cafeto de 6 años) y T₅ (bosque primario).

En los resultados se puede observar que, la mayor cantidad de carbono en comparación a los demás parámetros evaluados se obtuvo en la biomasa arbórea del bosque primario, con un valor de 79 008.40 Kg. C/ha, seguido del suelo con 37 500 Kg. C/ha (bosque primario), la hojarasca con 7 900.46 Kg. C/ha (café de 6 años), y por ultimo la biomasa herbácea con 2 408.12 Kg. C/ha (café de 5 años).

X. SUMMARY

The present work of Investigation has like I title "ESTIMATE OF THE RETAINED CARBON IN THE BIOMASS OF THE STRATUM - COFFEE (*Arabic Coffea*) LOW SHADE DE GUABA (*Inga* sp.) IN THE COUNTY OF YOU LICK-PERU.", the objectives were to estimate the quantity of carbon retained in the trash, in the arbustiva ones, in the air biomass and in the 5 superior cm of the floor, in a system agroforestal of coffee low shade of *Inga* sp. and to determine the relative proportion of the contribution in the systems agroforestales and to establish the relationship among their components, in the district of Rumizapa, county of you Lick, Department of San Martin. Likewise the Design of Blocks was used Totally at random with 5 treatments and 5 repetitions. The treatments were: T₁ (3 year-old coffee), T₂ (4 year-old coffee), T₃ (5 year-old coffee), T₄ (6 year-old coffee) and T₅ (primary forest).

In the results one can observe that, the biggest quantity in carbon in comparison to the other evaluated parameters was obtained in the arboreal biomass of the primary forest, with a value of 79 008.40 Kg. C/ha, followed by the floor with 37 500 Kg. C/ha (primary forest), the trash with 7 900.46 Kg. C/ha (6 year-old coffee), and for I finish the herbaceous biomass with 2 408.12 Kg. C/ha (5 year-old coffee).

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARÉVALO, ALEGRE Y PALM L. 2000. Manual – “Determinación de las Reservas Totales de Carbono en los Diferentes Sistemas de uso de la Tierra en Perú” Consorcio para el desarrollo sostenible de Ucayali (CODESU) y Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería. (ICRAF). 17p.
2. BRACK, W. 1993. “Experiencias Agroforestales Exitosas en la Cuenca Amazónica” Tratado de Cooperación Amazónica Lima – Perú. 176 p.
3. BROW Y LUGO 1992. “Secuestro de carbono en bosques, su papel en el ciclo global”. Costa Rica
4. CASTAÑEDA, E. 1997 “Manual Técnico Cafetalero” Lima – Perú p. 162
5. CRAMER Y KONER. 2000. “Determinación de contenidos de carbono y captura potencial”. México
6. COLCHESTER, M. 2001. “Secuestro de Carbono: un dilema para los habitantes de los bosques”. 2 p.
7. ECOSUR. 2002. “Proyecto Piloto Internacional para la Captura de Carbono y Desarrollo Silvicultural Comunitario en Chiapas – México” México D.F. 5 p. <http://www.ecosur.mx/scolel/cc.htm>.
8. GARCÍA, L. 1997. “Agricultura de Conservación”. Editorial. MUSA. México. 98 p.
9. GONZALES, M. y RAISMAN, J. 2000. “Ciclo Bio-geo-químico”. Argentina.
10. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS (INIFAP) 1997. “Tecnología para la producción de café” en México. Folleto Técnico No 8 División Agrícola 90pp

11. IZAC, H. 1997. "Captura de Carbono en Sistemas Agroforestales"
Costa Rica. 94 p.
12. LOHMANN, L. 2002. "Movimiento Mundial de los Bosques Tropicales".
Campaña. Plantaciones. El mercado del Carbono: Sembrando más
problema. Montevideo-Uruguay. 16p.
13. LOPEZ, W. 1994. "Sistemas Agrarios de Producción".
Tarapoto – Perú. 113 p.
14. MAISONNAVE; R. 1997. "El Efecto Invernadero y el Clima". Conferencia
realizada para la Academia Nacional de Ingeniería. Lima – Perú 17 p.
15. OUPOVEY, RICHARD Y FRANK.. 1999. "Especies de Cobertura". Canadá.
p. 36 y 37.
16. ONERN 1984. "Estudio de Evaluación de Recursos Naturales y
Plan de Protección Ambiental" Parte I Departamento de San
Martín.
17. PINTO, M. 1994. "Captura de Carbono en Bosques Tropicales" México.
76 p.
18. PROFORMA 2002. "Medición de Captura de Carbono en Bosques de Chile"
Chile. 2 p.
19. ROMERO, P. 1996. "Efecto Invernadero" . Santiago de Chile. 164 p.
20. SCHIMEL, 1998; Oren, 2001 "Carbono Acumulado en los diferentes suelos
y bosques tropicales"
21. ZAMORA, Q. L. 1998 "Manual de Recomendaciones para el cultivo de café"
ICAFFE, San José de Costa Rica p. 195
22. <http://lead.virtualcenter.org/es/dec/toolbox/Grazing/carbSiEA.htm>
23. http://www.portalagrario.gob.pe/rnn_guaga.shtml

24. <http://lufro.boku.ac.at/lufro/lufronet/d6/wu60304/merida-taller.htm>
25. <http://waste.ideal.es/biomasa.htm/>
26. <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y4435S/y4435s0e.htm#TopOfPage>
27. <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y2779S/y2779s0e.htm#TopOfPage>

ANEXO

CROQUIS DE CAMPO

Café de 3 años

T1

--	--	--	--	--

Café de 4 años

T2

--	--	--	--	--

Café de 5 años

T3

--	--	--	--	--

Café de 6 años

T4

--	--	--	--	--

Bosque primario

T5

--	--	--	--	--